

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kajian Penelitian Terdahulu**

Kajian penelitian terhadap potensi Pembangkit Listrik Tenaga Air terutama yang sekala menengah ke bawah di beberapa daerah sebenarnya sudah banyak dilakukan. Adapun beberapa contoh kajian penelitian terdahulu sebagai berikut

Vendi Antono, 2016: Jurnal Tugas Akhirnya yang berjudul Perencanaan PLTMH 30 Kw, Desa Giri Tirta Kec. Pejawaran, Banjar Negara Jawa Tengah, di dapat hasil, dengan debit  $0,35 \text{ m}^3/\text{s}$  dengan head 14,5 m dengan menggunakan turbin *Crossflow* didapat daya sebesar 30 kW (Antono, 2016).

Hendra E Mantiri, 2018: Jurnal Tugas Akhirnya yang berjudul Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Listrik Minihidro Sungai Moayat Desa Kobo Kecil Kota Kotamobagu, di dapat hasil, dengan debit  $1,75 \text{ m}^3/\text{s}$  dengan head 60,3 m dengan menggunakan turbin *Francis* didapat daya sebesar 666,1 kW (Mantiri, 2018).

Pada penelitian Tedy Wibowo pada tahun 2014 yang berjudul Perencanaan Bendungan Tugu Kabupaten Trenggalek menyatakan bahwa, Bendungan Tugu memiliki debit irigasi sebesar  $0,90 \text{ m}^3/\text{s}$  (Wahyuningdyah, Juwono, & Rispiningtati, 2012).

Dari beberapa penelitian diatas, maka Bendungan Tugu memiliki potensi yang besar apabila dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik skala minihidro.

## 2.2 Bendungan Tugu

Bendungan Tugu merupakan proyek strategis nasional yang di bangun untuk memenuhi kebutuhan air baku dan kebutuhan air irigasi. Bendungan Tugu diharapkan mampu memenuhi kebutuhan Daerah Irigasi (DI) di Kecamatan Tugu dengan luas 1.106 Ha, dan memenuhi kebutuhan air baku di beberapa Desa di Kecamatan Tugu, yaitu Desa Nglinggis, Pucanganak, Dermosari, Winong, dan Tegaren dengan proyeksi jumlah penduduk pada tahun 2042 adalah 19.580 jiwa (Tedy Wibowo, 2014). Selain itu dibangunnya bendungan ini juga sebagai pengendalian banjir di daerah Trenggalek Kota yang sering terjadi ketika musim penghujan.

Bendungan Tugu di bangun diatas sungai keser dengan luas aliran 43,06 km<sup>2</sup> dengan panjang sungai 9,295 km Secara administrasi wilayah Bendungan Tugu terletak di Desa Nginggis Kecamatan Tugu Kabupaten Trenggalek atau berada di sisi pinggir jalan utama yang menghubungkan Kabupaten Trenggalek dengan Kabupaten Ponorogo pada km  $\pm$  15. Secara geografis bendungan trenggalek terletak pada posisi 8°1' - 8°3' Lintang Selatan dan 111°34' – 111°37' Bujur Timur. Lokasi Bendungan Tugu dapat dilihat pada gambar 2.1 di bawah.



Gambar 2. 1 Denah lokasi Bendungan Tugu Trenggalek (Sumber: Google Eart)

Pembangunan Bendungan Tugu di kelola oleh Balai Besar Wilayah Sungai Brantas (BBWS Brantas) dengan PT Wijaya Karya (PT. Wika) sebagai komtraktor. Bendungan tugu memiliki lebar dasar bendungan 301 m dan panjang bendungan 390,26 m. Bendungan tugu merupakan bendungan dengan tipe urukan batu dengan inti tegak, dengan dari dasar Sungai yaitu 81 m, tinggi dari galian sebesar 85 m, panjang puncak bendungan 437,27 m, serta lebar puncak bendungan yaitu 12 m. Bendungan Tugu memiliki kapasitas tampung sebesar 9,3 juta m<sup>3</sup>. Pelimpah dirancang dengan tipe pelimpah samping tanpa pintu dengan panjang mercu 22 m, elevasi mercu 251 m, kapasitas puncak 928,44 m<sup>3</sup>/s, dengan kapasitas banjir 670,95 m<sup>3</sup>/s (Tedy Wibowo, 2014).

### **2.3Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM)**

Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro adalah pembangkit listrik tenaga air dengan kapasitas pembangkitan antara 1 KW sampai dengan 1 MW (Mantiri, 2018). PLTM merupakan jenis pembangkit yang ramah lingkungan atau *clean energy* karena memanfaatkan enegi aliran air untuk membangkitkan daya .

Faktor pendorong perlu dibangunnya suatu pembangkit tenaga air pada suatu daerah adalah sebagai berikut (M Reza, 2019):

1. Adanya sumber air yang dapat dimanfaatkan untuk dibangkitkan.
2. Daerah tersebut sulit atau cukup jauh untuk dijangkau jaringan listrik PLN.  
Kalaupun akan dipasang biayanya terlalu mahal.
3. Jarak antara pembangkit dengan daerah konsumen tidak terlalu jauh.
4. Adanya minat dan keinginan dari penduduk setempat untuk menggunakan tenaga listrik dan terutama bila ada industri kecil dan menengah yang mungkin akan lebih berkembang dengan adanya tenaga listrik.

### 2.3.1 Bagian- bagian PLTM

Komponen- komponen PLTM dapat di petakan menjadi beberapa komponen, yaitu komponen sipil, komponen elektrik, dan komponen mekanikal, sebagai berikut.



Gambar 2. 2 Komponen PLTM (Sumber: kajianpustaka.com)

#### 1. Bendungan (*weir*)

Bendungan atau *weir* adalah bangunan yang melintang pada sungai yang berfungsi untuk membelokkan arah aliran sungai selain itu bendungan juga berfungsi untuk menaikkan dan mengontrol volume air sehingga cukup untuk dialirkan ke *intake* pembangkit.

#### 2. Saluran penyalang (*intake*)

Saluran penyalang adalah saluran masuknya air dari bendungan atau sungai menuju saluran pembawa. Pada intake dilengkapi dengan saluran untuk menghalangi sampah.

#### 3. Saluran Pembawa (*Headrace*)

Saluran pembawa yaitu saluran yang berfungsi membawa air menuju kolam penenang.

#### 4. Saluran pelimpah (*Spillway*)

Saluran pelimpah berfungsi untuk mengurangi kelebihan air pada saluran pembawa.

### 5. Kolam penenang (*Forebay*)

Kolam penenang berfungsi untuk mengendapkan kotoran yang di bawa air, selain itu berfungsi untuk menenangkan air sebelum masuk pipa penstock.

### 6. Rumah Pembangkit (*Power House*)

Rumah pembangkit merupakan tempat dari turbin, generator dan komponen-komponen lainnya.

#### 2.3.1 Prinsip Kerja PLTM

Prinsip kerja Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) sama dengan pembangkit tenaga air lainnya yaitu memanfaatkan putaran dari turbin air untuk menghasilkan listrik. Air yang memiliki beda elafasi atau Head tersebut dengan kapasitas atau debit tertentu memiliki energi potensial yang tinggi, energi potensial tersebut yang akan dirubah menjadi energi kinetis untuk memutar turbin air (Atono, 2016). Daya yang dapat dihasilkan dapat dirumuskan dengan

$$P = \rho \times Q \times g \times H_{eff} \dots\dots\dots(2.1)$$

(Carson, 1984)

Diman:

P = Daya (w)

$\rho$  = Masa jenis air (kg/m<sup>3</sup>)

Q = Debit atau kapasitas fluida (m<sup>3</sup>/s)

G = Percepatan grafitasi (m/s<sup>2</sup>)

$H_{eff}$  = Head Efektif (m)

### 2.3.2 Perhitungan Head pada PLTM

Head adalah ketinggian jatuh atau perbedaan elevasi antara permukaan air dengan turbin yang akan menimbulkan energi potensial air. Persamaan head efektif pada turbin adalah

$$H_{eff} = H - (H_{L_{mayor}} - H_{L_{minor}}) \dots \dots \dots (2.2)$$

(Hussian, Abdullah, & Alimuddin, 2008)

## 2.4 Teori Dasar Aliran (Hidrodilika)

### 2.4.1 Debit Aliran (Q)

Debit adalah laju aliran fluida dalam suatu satuan waktu atau atau banyaknya fluida yang mengalir dalam suatu penampang tiap satuan waktu. Dalam persamaan matematik dapat ditulis:

$$Q = \frac{v}{t} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana:

Q = Debit Aliran (m/s)

v = Volume Fluida (m<sup>3</sup>)

T = Waktu (s)

Jika suatu fluida mengalir di dalam suatu pipa atau suatu penampang dengan kecepatan aliran V dengan waktu aliran t, maka persamaan 2.1 di atas menjadi,

$$Q = V \times A \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana:

A = Luas Penampang Aliran (m<sup>2</sup>)

V = Kecepatan Aliran (m/s)

Jadi debit aliran dapat digunakan untuk menentukan kecepatan aliran fluida dan luas penampang dari fluida tersebut.

#### 2.4.2 Persamaan Bernaolli

Persamaan bernaulli menyatakan hubungan antara kecepatan aliran ( $V$ ), Tekanan ( $P$ ), dan masa jenis ( $\rho$ ). Dimana azaz Bernaulli menyatakan bahwa didalam fluida yang mengalir dengan kecepatan lebih tinggi akan diperoleh tekanan yang lebih kecil. Persamaan bernaulli dapat dilihat pada persamaan dibawah.

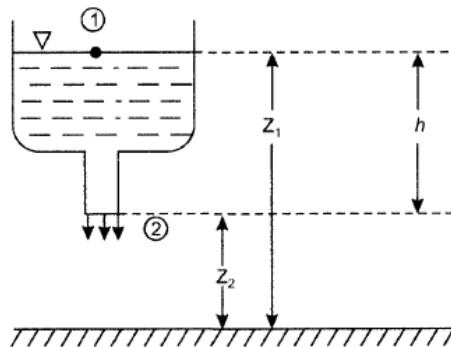
$$\frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + z = \text{konstan} \dots \dots \dots (2.5)$$

(Hussian et al., 2008)

Dimana

- $P$  = tekanan (Pa)
- $V$  = Kecepatan fluida (m/s)
- $z$  = Elevasi atau ketiggian (m)
- $\gamma$  = Berat Jenis ( $\text{N/m}^3$ )
- $g$  = Percepatan grafitasi ( $\text{m/s}^2$ )

Jika suatu fluida pada mengalir pada suatu lubang *reservoir* pada gambar di bawah, maka:



Gambar 2. 3 Aliran pada lubang reservoir (Sumber: Hussian et al., 2008)

Jika  $P_1 = P_2 = 0$ , dan  $V_1 = 0$ , maka

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2$$

$$\frac{V_2^2}{2g} = z_1 - z_2$$

Jika,  $z_1 - z_2 = h$ , jadi persamaan menjadi

$$\frac{V_2^2}{2g} = h$$

$$V_2 = \sqrt{2gh} \dots \dots \dots (2.6)$$

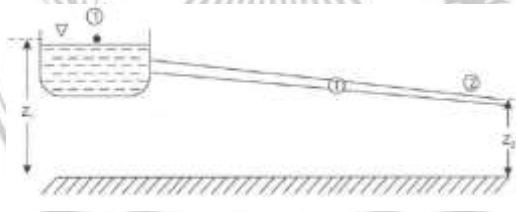
Dimana,

$V_2$  = Kecepatan fluida keluar (m/s)

$g$  = Kecepatan Fluida ( $m/s^2$ )

$h$  = ketinggian fluida (m)

Untuk persamaan *Bernoulli* pada turbin dapat di lihat pada gambar di persamaan 2.7 di bawah.



Gambar 2. 4 Skema instalasi turbin (Sumber: Hussian et al., 2008)

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_L \dots \dots \dots (2.7)$$

(Hussian et al., 2008)

Dimana.

$P$  = tekanan (Pa)

$V$  = Kecepatan fluida (m/s)

$z$  = Elevasi atau ketinggian (m)



$\gamma$  = Berat Jenis ( $\text{N/m}^3$ )

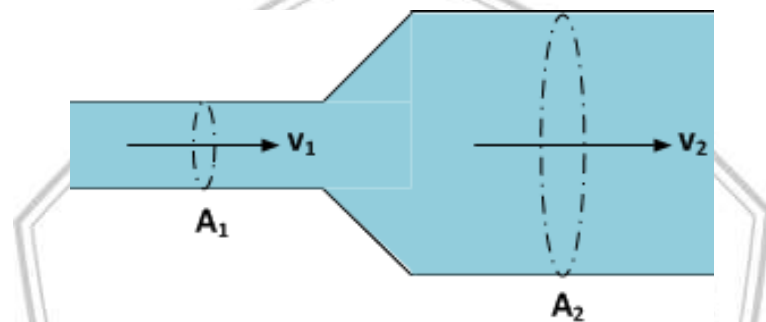
$g$  = Percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

$H_L$  = Total Head Losses

#### 2.4.3 Persamaan Kontinuitas

##### 1. Persamaan kontinuitas pada pipa berpenampang beda

Persamaan kontinuitas menyatakan bahwa laju aliran massa fluida yang mengalir pada dua penampang pipa yang berbeda laju aliran massa akan sama pada penampang satu maupun penampang dua (Victor L Streeter, 1996).



Gambar 2. 5 Aliran fluida pada penampang beda (Sumber: [www.fisikasekolah.com](http://www.fisikasekolah.com))

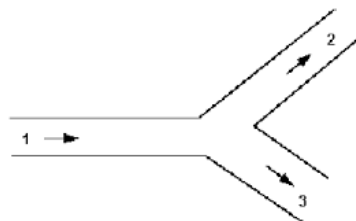
Dari pernyataan diatas maka persamaan kontinuitas adalah

$$\rho_1 \times v_1 \times A_1 = \rho_2 \times v_2 \times A_2 \dots \dots \dots (2.8)$$

(Victor L Streeter, 1996).

##### 2. Persamaan kontinuitas pada pipa bercabang

Pada pipa bercabang persamaan kontinuitas menyatakan bahwa debit aliran pada yang menuju titik cabang harus sama dengan debit aliran yang keluar dari cabang tersebut (RS Khurmi, 2000), seperti terlihat pada gambar dibawah.



Gambar 2. 6 aliran pada pipa bercabang ([riandamesin13.blogspot.com](http://riandamesin13.blogspot.com))

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \dots\dots\dots(2.9)$$

#### 2.4.4 Jenis Aliran Fluida

Aliran fluida pada suatu pipa atau saluran tertutup sangat tergantung pada bilangan *Reynold*. Bilangan *Reynold* adalah bilangan yang tidak berdimensi dimana bilangan *Reynold* inilah yang akan menentukan jenis aliran yang terjadi pada suatu aliran dalam pipa. Persamaan bilangan *Reynold* dapat dilihat pada persamaan 2.7.

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \dots\dots\dots(2.10)$$

(Munson, Young, & Okishi, 2003)

Dimana:

Re = Bilangan Reynold

$\rho$  = Masa Jenis ( $\text{kg/m}^3$ )

V = Kecepatan rata- rata (m/s)

$\mu$  = viskositas dinamik ( $\text{Ns/m}^2$ )

Nilai fiskositas Dinamik dapat dilihat pada tabel 2.1 Di bawah.

**Tabel 2. 1 Tabel Propertis Fluida (Munson et al., 2003)**

Temperatur (°C)	Densitas, $\rho$ ( $\text{kg/M}^3$ )	Berat Jenis <sup>b</sup> , $\gamma$ ( $\text{kN/M}^3$ )	Viskositas Dinamik, $\mu$ ( $\text{N} \cdot \text{s/m}^2$ )	Viskositas Kinematik, $\nu$ ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	Tegangan Permukaan <sup>c</sup> , $\sigma$ (N/m)	Tekanan Uap, $P_v$ [ $\text{N/m}^2(\text{abs})$ ]	Kecepatan Suara <sup>d</sup> , $c$ (m/s)
0	999,9	9,806	1,787 E - 3	1,787 E - 6	7,56 E - 2	6,105 E + 2	1403
5	1000,0	9,807	1,519 E - 3	1,519 E - 6	7,49 E - 2	8,722 E + 2	1427
10	999,7	9,804	1,307 E - 3	1,307 E - 6	7,42 E - 2	1,228 E + 3	1447
20	998,2	9,789	1,002 E - 3	1,004 E - 6	7,28 E - 2	2,338 E + 3	1481
30	995,7	9,765	7,975 E - 4	8,009 E - 7	7,12 E - 2	4,243 E + 3	1507
40	992,2	9,731	6,529 E - 4	6,580 E - 7	6,96 E - 2	7,376 E + 3	1526
50	988,1	9,690	5,468 E - 4	5,534 E - 7	6,79 E - 2	1,233 E + 4	1541
60	983,2	9,642	4,665 E - 4	4,745 E - 7	6,62 E - 2	1,992 E + 4	1552
70	977,8	9,589	4,042 E - 4	4,134 E - 7	6,44 E - 2	3,116 E + 4	1555
80	971,8	9,530	3,547 E - 4	3,690 E - 7	6,26 E - 2	4,734 E + 4	1555
90	965,3	9,467	3,147 E - 4	3,260 E - 7	6,08 E - 2	7,010 E + 4	1550
100	958,4	9,399	2,818 E - 4	2,940 E - 7	5,89 E - 2	1,013 E + 5	1543

Jenis aliran fluida ada 3 yaitu:

#### 1. Aliran Laminar

Aliran laminar merupakan jenis aliran dengan nilai  $Re$  (*Reynold Number*) kurang dari 2100 (Munson et al., 2003). Aliran laminar bergerak pada lapisan-lapisan atau lamina- lamina dengan satu lapisan meluncur secara lancer.



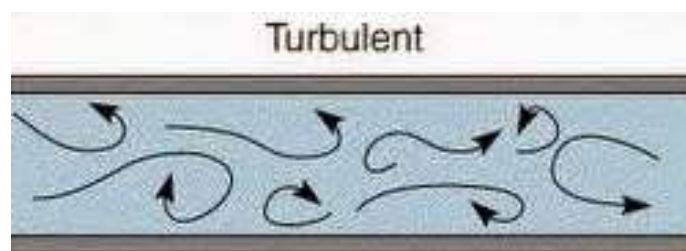
Gambar 2. 7 Aliran laminar (Sumber: [learningfluidmechanics.blogspot.com](http://learningfluidmechanics.blogspot.com))

## 2. Aliran Transisi

Aliran Transisi merupakan aliran dengan nilai  $Re$  diantar 2100 dan 4000 (*Reynold Number*) kurang dari 2100 (Munson et al., 2003). Aliran transisi merupakan aliran perubahan aliran laminar ke aliran turbulen. Aliran ini terjadi apabila kecepatan air bertambah dan vikositas berubah semakin berkurang.

## 3. Aliran Turbulen

Aliran turbulen merupakan aliran dengan nilai  $Re$  lebih dari 4000 (*Reynold Number*) kurang dari 2100. Aliran turbulen memiliki aliran yang tidak tidak teratur, dikarenakan pergerakan dari partikel-partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami percampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida ke bagian fluida yang lain dalam skala yang besar.



Gambar 2. 8 Aliran Turbulrn (Sumber: [learningfluidmechanics.blogspot.com](http://learningfluidmechanics.blogspot.com))

#### 2.4.4 Kerugian Aliran

##### a. Kerugian Mayor (*Mayor Losses*)

Kerugian Mayor atau mayor losses adalah kerugian head atau kehilangan tinggi tekan yang disebabkan oleh gesekan pada bagian pipa yang lurus. Kerugian mayor sangat di pengaruh oleh jenis aliran yang terjadi pada pipa tersebut. Persamaan kerugian Mayor ditulis pada persamaan 2.3 di bawah.

$$HL_{mayor} = f \frac{LV^2}{D2g} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana:

$HL_{mayor}$  = Kerugian mayor (m)

$f$  = Koefisien gesekan

$L$  = Panjang pipa (m)

$V$  = Kecepatan Aliran

$D$  = Diameter pipa

$G$  = Kecepatan grafitasi

Dalam kerugian mayor, nilai koefisien gesekan dipengaruhi oleh jenis aliran.

Persamaan  $f$  dapat dilihat pada persamaan dibawah.

- Nilai faktor gesekan ( $f$ ) akibat aliran laminar

$$f = \frac{64}{Re} \dots\dots\dots(2.12)$$

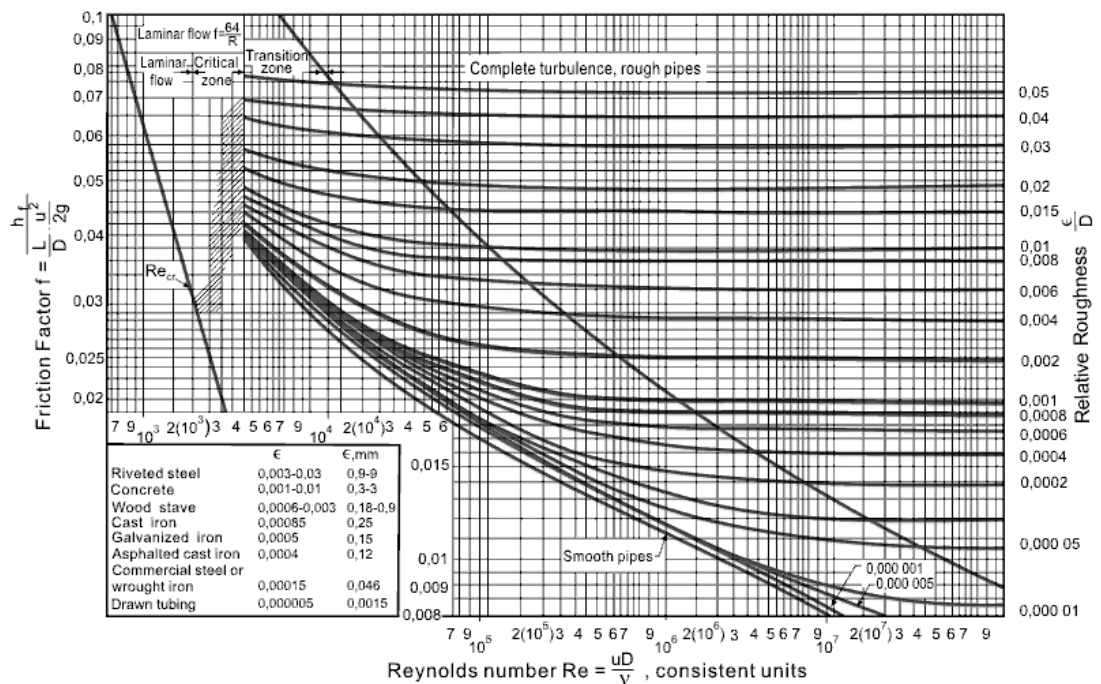
(Munson et al., 2003)

Dimana:

$Re$  = Bilangan Reynolds

- Nilai faktor gesekan ( $f$ ) akibat aliran turbulen

Nilai  $f$  (factor gesekan) pada aliran turbulen dapat dilihat pada diagram moody pada gambar di bawah ((Munson et al., 2003)



Gambar 2. 9 Gambar diagram Moody (Sumber: Munson et al., 2003)

b. Kerugian Minor (*Minor Losses*)

Seaian kerugian yang terjadi pada pipa, kerugian pada head juga bisa disebabkan oleh komponen- komponen pipa, missal katup, sambungan lurus (keni), dan sambungan bersiku. Kerugian ini disebut dengan kerugian minor (*minor losses*). Persamaan *Minor Losses* dapat dilihat pada persamaan 2.4 di bawah.

$$HL_{minor} = K_L \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (2.13)$$

(Munson et al., 2003)

Dimana:

HL = head losses minor (m)


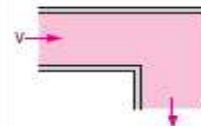
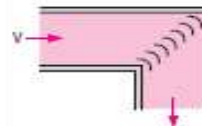
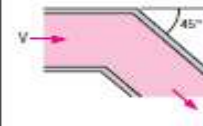

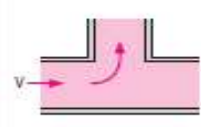
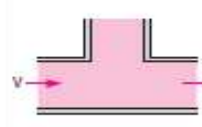
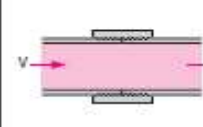
KL = Koefisien Kerugian

V = Kecepatan Aliran Fluida (m/s)

g = Percepatan Gravitasi ( $m/s^2$ )

Nilai untuk koefisien kerugian dapat dilihat pada tabel dibawah.

**Tabel 2.2** Tabel koefisien kerugian KL pada *minor losses* (slideplayer.com/slide/5704508/)

TABLE 8-4 (CONCLUDED)			
<b>Bends and Branches</b>			
<b>90° smooth bend:</b> Flanged: $K_L = 0.3$ Threaded: $K_L = 0.9$	<b>90° miter bend (without vanes):</b> $K_L = 1.1$	<b>90° miter bend (with vanes):</b> $K_L = 0.2$	<b>45° threaded elbow:</b> $K_L = 0.4$
			
<b>180° return bend:</b> Flanged: $K_L = 0.2$ Threaded: $K_L = 1.5$	<b>Tee (branch flow):</b> Flanged: $K_L = 1.0$ Threaded: $K_L = 2.0$	<b>Tee (line flow):</b> Flanged: $K_L = 0.2$ Threaded: $K_L = 0.9$	<b>Threaded union:</b> $K_L = 0.08$
			
<b>Valves</b>			
Globe valve, fully open: $K_L = 10$	Gate valve, fully open: $K_L = 0.2$		
Angle valve, fully open: $K_L = 5$	$\frac{1}{2}$ closed: $K_L = 0.3$		
Ball valve, fully open: $K_L = 0.05$	$\frac{1}{4}$ closed: $K_L = 2.1$		
Swing check valve: $K_L = 2$	$\frac{3}{4}$ closed: $K_L = 17$		
<small>* These are representative values for loss coefficients. Actual values strongly depend on the design and manufacture of the components and may differ from the given values considerably (especially for valves). Actual manufacturer's data should be used in the final design.</small>			

## 2.5 Turbin Air

### 2.5.1 Pengertian Turbin Air

Secar umum turbin dapat diartikan sebagai mesin penggerak mula dimana energi fluida yang bekerja langsung memutar roda turbin, fluida tersebut bisa berupa air, uap air, dan gas. Melihat pengertian diatas turbin dapat diartikan sebagai suatu peralatan mekanik yang dapat mengubah energi potensial air berupa ketinggian head menjadi energi mekanik berupa torsi pada sudu turbin sehingga menghasilkan putaran pada poros turbin (Nusyirwan, 2017). Secar garis besar bagian turbin terdiri dari bagian yang bergerak (berputar) yang disebut rotor, dan bagian yang diam yang disebut stator.

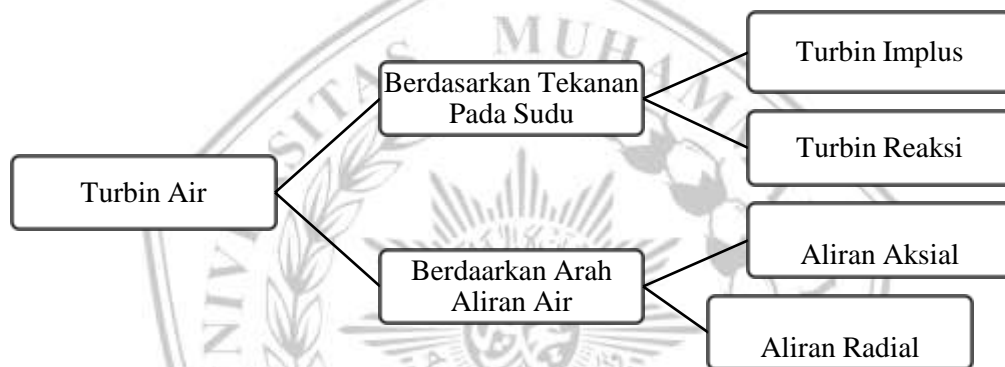
### 2.5.2 Prinsip Kerja Turbin Air

Turbin adalah peralatan mekanik yang mengubah energi potensial aliran air menjadi energi mekanik berupa torsi pada sudu turbin sehingga poros turbin dapat berputar (Nusyirwan, 2017). Pada turbin terdapat *impeller*, fluida kerja berupa air

mengalir melalui ruang pada turbin. Akibatnya akan timbul gaya yang bekerja pada sudu tersebut. Gaya yang timbul terjadi karena adanya perubahan momentum dari fluida tersebut sehingga turbin dapat berputar.

### 2.5.3 Klasifikasi Turbin Air

Turbin merupakan komponen utama dari suatu sistem pembangkit listrik tenaga air maupun pembangkit listrik tenaga mikro hidro. Secara garis besar turbin air dibedakan berdasarkan arah aliran air dan tekanan air yang melewati sudu. Klasifikasi turbin dapat dilihat pada gambar 2.8 dibawah.



**Gambar 2. 10 Klasifikasi turbin**

#### a. Turbin Impuls

Turbin impuls adalah turbin air yang cara kerjanya merubah seluruh energi air yang tersedia menjadi energi kinetik untuk memutar turbin, sehingga menghasilkan energi kinetik perubahan tersebut terjadi pada nozzle. Air keluar nozzle yang mempunyai kecepatan tinggi membentur sudu turbin yang berbentuk mangkuk sehingga turbin berputar (Harinaldi, 2015). Contoh turbin impuls adalah turbin pelton, crossflow dan turgo.

#### b. Turbin Reaksi

Turbin reaksi adalah turbin yang sistem kerjanya mengubah energi tekanan static tinggi ke tekanan static rendah dengan melewatkannya melalui sudu-sudu

turbin, atau besarnya energi yang diserap sudu adalah perbedaan tekanan masuk dan tekanan keluar turbin (Harinaldi, 2015). Contoh turbin implus adalah turbin francis, *propeller* dan turbin *Kaplan*.

## 2.6 Perhitungan Pipa Pesat

Pipa *Penstock* merupakan pipa pengarah air yang dari bak penenang menuju turbin. Dalam perencanaan pipa *penstock* yang perlu diperhatikan yaitu Panjang piap, diameter pipa dan tebal pipa.

### 2.6.1 Perhitungan Tekanan Dalam Fluida pada Pipa

Perhitungan tekanan dalam pipa didasarkan pada tekanan hydrostatic, dimana tekanan hydrostatic didasarkan pada head dan massa jenis fluida (Mahendra, 2013).

Tekanan dalam pipa yaitu

$$P_{fluida} = \gamma \times Ht \dots \dots \dots (2.14)$$

(Mahendra, 2013)

Dimana:

$\gamma$  = Berat jenis fluida (N/m<sup>3</sup>)

$Ht$  = Head fluida (m)

### 2.6.2 Perhitungan diameter dalam pipa

Untuk mendapatkan diameter optimal pipa maka digunakan persamaan Gordon dan Penman (Atono, 2016). Persamaan Gordon dan Panman sebagai berikut.

$$D = 0,72 Q^{0,5} \dots \dots \dots (2.15)$$

(Atono, 2016)

Dimana

$D$  = Diameter piap (m)



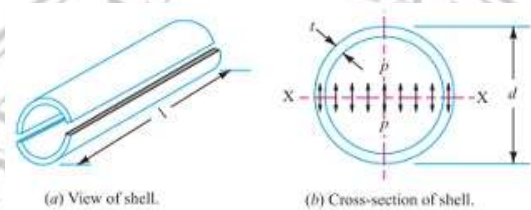
$Q$  = Debit aliran ( $m^3$ )

### 2.6.3 Perhitungan Tebal Pipa Pesat.

Dalam perancangan tebal pipa pesat harus didasarkan pada dua tegangan yang bekerja pada pipa pesat, yaitu tegangan sirkumferensial dan tegangan longitudinal

#### a. Perhitungan tebal pipa akibat tegangan sirkumferensial

Tegangan sirkumferensial adalah tegangan yang diakibatkan oleh gaya yang arahnya tegak lurus dengan sumbu pipa, diaman tegangan tersebut akan mengakibatkan pipa terbelah. Sekema tegangan sirkumferensial dapat dilihat pada gambar di bawah.



**Gambar 2. 11 Tegangan Sirkumferensial pada Pipa (www.idpipe.com)**

Besar tegangan sirkumferensial dapat dicari dengan persamaan dibawah.

$$\sigma_t = \frac{p_i \times r_i}{t} \dots \dots \dots (2.16)$$

(Pytel, 2003)

Dimana,

$\sigma_t$  = tegangan tangensial ( $N/m^2$ )

$p_i$  = tekanan dalam (Pa)

$r_i$  = diameter dalam silinder (m)

$t$  = tebal silinder (m)

b. Perhitungan tebal akibat tegangan longitudinal

Tegangan longitudinal adalah tegangan yang arahnya sejajar dengan sumbu longitudinal dan menyebabkan pipa patah. Gambar tegangan longitudinal dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 2. 12 Tegangan Longitudinal Pada Pipa (Sumber: slideplayer.info)

Tebal pipa akibat tegangan longitudinal dapat dihitung dengan persamaan dibawah.

$$\sigma_l = \frac{p_i \times r_i}{2t} \dots\dots\dots (2.17)$$

(Pytel, 2003)

Dimana,

$\sigma_l$  = tegangan longitudinal(N/m<sup>2</sup>)

$p_i$  = tekanan dalam (Pa)

$r_i$  = diameter dalam silinder (m)

$t$  = tebal silinder (m)

Dalam penentuan tebal silinder maka digunakan teori kegagalan MNST (*Maximum Normal Strees Theory*). Persamaan untuk MNST yaitu,

$$\sigma_1 = \frac{S_y}{SF} \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana

$\sigma_1$  = Tegangan principal 1 (tegangan tangensial) (N/m<sup>2</sup>)

$S_y$  = tegangan luluh tarik maksimal (N/m<sup>2</sup>)

$SF$  = *Safety Factor*

## 2.7 Pemilihan Tipe Turbine

### 2.7.1 Perhitungan Kecepatan Spesifik Turbin

Kecepatan spesifik adalah kecepatan putar turbin yang menghasilkan daya sebesar satu satuan daya pada tinggi terjun pada satu satuan panjang.

$$ns = \frac{N\sqrt{P}}{H^{1/3}} \dots\dots\dots(2.19)$$

(Hussian et al., 2008)

Dimana

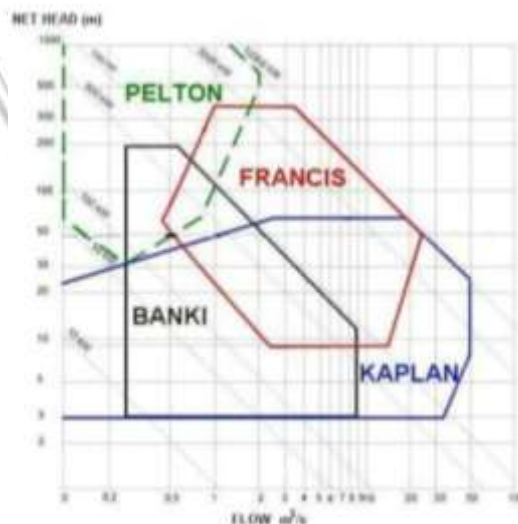
ns = Kecepatan spesifik

N = Putaran turbin

H = Head turbin

### 2.7.2 Pemilihan Jenis Turbin Air

Turbin merupakan komponen PLTM yang utama selain generator, karena turbin merupakan mesin pembangkit daya atau yang merubah energy potensial aliran air menjadi energi kinetic. Dalam pemilihan turbin dapat dilihat pada grafik di bawah.



**Gambar 2. 13 Grafik pemilihan turbin berdasarkan head (H) dan kapasitas aliran (Q)**

Selain itu, pemilihan turbin dapat di dasarkan pada kecepatan spesifik

**Tabel 2. 3 Tabel penentuan tipe turbin berdasarkan kecepatan spesifik (Khurmi, 2000)**

NO	KECEPATAN SPESIFIK	TIPE TURBIN
1	8 sampai 30	Pelton dengan satu nozel
2	30 sampai 50	Pelton dengan beberapa nozle
3	50 sampai 250	Francis turbin
4	250 sampai 1000	Kaplan turbin

## 2.8 Turbin Pelton

Turbin impuls adalah turbin air yang cara kerjanya merubah seluruh energi air yang tersedia menjadi energi kinetik untuk memutar turbin, sehingga menghasilkan energi kinetik. Perubahan tersebut terjadi pada nozle. Air keluar nozle yang mempunyai kecepatan tinggi membentur sudu turbin. Setelah membentur sudu arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (impulse).

### 2.8.1 Bagian- bagian turbin pelton

Pada umumnya bagian turbine pelton adalah runner, nozzle, dan casing turbin. Tetapi komponen turbin pelton juga dilengkapi dengan bantalan. Poros dan system transmisi. Bagian – bagian turbin pelton antara lain,

#### 1. *Runner Turbin*

Runner turbin terdiri dari piringan dan beberapa mangkuk yang terpasang pada sekeliling disk. Piringan tersebut akan ditopang oleh poros dan ditahan oleh pasak pada poros dan *stopper*. Bahan runner (piringan dan mangkuk) harus terbuat dari bahan yang kuat dan tahan terhadap korosi. Gambar runner turbin dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 2. 14 Runner turbin pelton (Sumber: [indonesian.hydrotu.com](http://indonesian.hydrotu.com))

## 2. *Nozzle*

Komponen yang utama dari turbin pelton adalah *nozzle* atau pengarah aliran air. *Nozzle* berfungsi untuk memancarkan air sehingga menumbuk pada mangkuk sudu turbin. Air keluar dari *nozzle* memiliki kecepatan tinggi dan akan membentur sudu turbin. Air yang membentur sudu akan menyebabkan turbin berputar. Pacaran air yang menumbuk mangkuk akan membelok arah, maka terjadi momentum implus.

## 3. Poros turbin

Poros turbin berfungsi untuk menopang runner turbin dan meneruskan putaran turbin ke sistim transmisi turbin. Poros turbin pada umumnya menahan beban bending dan beban torsi akibat putaran. Poros turbin dirancang dengan kuat dan tahan terhadap korosi.

## 4. *Cassing* turbin

Casing turbin digunakan sebagai tempat monopang *nozzle* turbin dan mengatur aliran air setelah menumbuk *runner* agar teratur. Selain itu juga berfungsi untuk melindungi runner dari gangguan luar. Contohnya adalah koyotan dan cuaca

## 5. Sistim transmisi

System transmisi adalah komponen yang menyalurkan daya dan putaran dari turbin ke generator. ada berbagai macam system transmisi yang dapat diaplikasikan pada turbin. Pemilihan sistim transmisi tergantung dari keprluan.

## 6. Bantalan

Bantalan turbin berfungsi untuk menopang poros, sehingga putaran pada poros dapat berlangsung dengan lancar dan halus. Bantalan harus kokoh sehingga putaran dapat berputar dengan aman.

### 2.8.2 Perhitungan turbin pelton

#### 1. Perhitungan daya pada turbin pelton

Pada turbin peton daya pancar air dari nozzle jet akan diserap oleh turbin turbin pelton sebagai daya turbin. Daya yang dihasilkan turbin pelton dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$P_t = C_p \times \rho Q g H_{eff} \dots \dots \dots (2.20)$$

Dimana,

$C_p$  = koefisien daya (diperoleh dari penurunan turbin pelton)

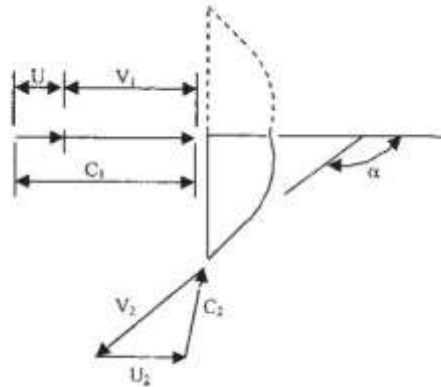
$\rho$  = masa jenis air ( $\text{kg/m}^3$ )

$Q$  = debit fluida

$H_{eff}$  = head efektif

#### 2. Segitiga kecepatan turbin

Segitiga kecepatan turbin adalah fektor kecepatan air fluida yang keluar dari pancaran *nozzle* mengenai bucket. Pada mangkuk air akan menumbuk mangkuk dan akan dibelokkan dengan sudut tertentu, sehingga terjadi momentum implus. Gambar segitiga kecepatan pada turbin pelton dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 2. 15 Segitiga kecepatan turbin pelton (Sumber: Hussian et al., 2008)

Dari segitiga kecepatan diatas maka persamaan euler menjadi.

$$E = \frac{U(C_1 - U)(1 - \cos \alpha)}{g} \dots\dots\dots(2.21)$$

(Hussian et al., 2008)

Diaman,

- E = persamaan euler (m)
- U = kecepatan putaran runner (m/s)
- g = percepatan grafitasi (m/s<sup>2</sup>)
- $\alpha$  = Sudut bucket (°)

### 3. Perhitungan komponen turbin

#### a. Perhitungan runner turbin

- Perhitungan kecepatan tangensial *runner*

Kecepatan tangensial *runner* diakibatkan oleh momentum implus dari semprotan jet. Kecepatan *runner* pada turbin pelton adalah setengah dari kecepatan air yang keluar dari *nozzle*. Kecepatan *runner* dapat dihitung dengan,

$$U = 0,5 V_1 \dots\dots\dots(2.22)$$

(Hussian et al., 2008)

Dimana,

$U$  = Kecepatan *runner* turbin (m/s)

$v_1$  = Kecepatan *water jet* (m/s)

- Perhitungan Pitch Diameter

Pitch diameter (D) adalah diameter semprot air atau jarak semprot *nozzle* terhadap titik pusat runner. Persamaan ntuk menentukan pitch diameter adalah sebagai berikut.

$$D = \frac{60U}{\pi n} \dots\dots\dots(2.23)$$

(Hussian et al., 2008)

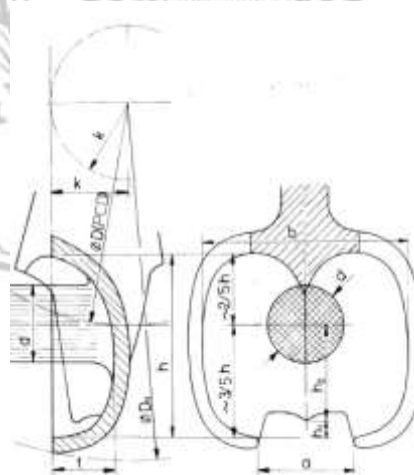
Diaman:

$D$  = Diameter pitch (m)

$U$  = Kecepatan *runner* turbin (m/s)

$n$  = kecepatan putaran *runner*.

- Perhitungan Dimensi Bucket



**Gambar 2. 16 Model bucket turbin pelton (Sumber: Eisenring, 1991)**

Berdasarkan buku *micro pelton turbine*, dimensi *bucket* turbine adalah,

Lebar *bucket* (b)

$$b = 3,2 d$$

Tinggi *bucket* (h)



$$h = 2,7 d$$

Panjang cavitasi ( $h_1$ )

$$h_1 = 0,35 d$$

Lebar cavitasi ( $a$ )

$$a = 1,2 d$$

Panjang ke titik impact ( $h_2$ )

$$h_2 = 1,5 d$$

Kedalaman *bucket* ( $t$ )

$$t = 0,9 d$$

Offset dari *bucket* ( $k$ )

$$k = 0,17 d$$

(Eisenring, 1991)

- Perhitungan jumlah *bucket*

Jumlah bucket dapat dihitung dengan persamaan dibawah.

$$Z = \frac{D}{2d} + 15 \dots\dots\dots(2.24)$$

(Hussian et al., 2008)

Diaman

Z = jumlah *bucket* (buah)

D = *Pitch Diameter* (m)

d = Diameter semprot *nozzle* (m)

- Perhitungan tebal *bucket*

Perancangan tebal *bucket* pada turbin pelton didasarkan pada gaya yang menumbuk pada gaya semprotan pada *bucket* sehingga pada bucket terjadi tegangan *bucket*. Perhitungan tebal *bucket* adalah,

$$\sigma_b = \frac{My}{I} \dots\dots\dots(2.25)$$

(Pytel. A, 2003)

Diamana:

$\sigma_b$  = Tegangan bending (N/m<sup>2</sup>)

M = Momen bending (Nm)

y = Jarak beban terhadap sumbu titik pusat (m)

I = Momen inersia

b. Perhitungan *Nozzle* turbin

Komponen yang utama dari turbin pelton adalah *nozzle* atau pengarah aliran air. *Nozzle* berfungsi untuk memancarkan air sehingga menumbuk pada mangkuk sudu turbin. Perhitungan *nozzle* dapat dilihat pada persamaan dibawah

- Perhotungan kecepatan pancaran *nozzle*

Kecepatan pancaran air seperti persamaan dibawah.

$$V_1 = \sqrt{2gH_{eff}} \dots\dots\dots(2.26)$$

(Hussian et al., 2008)

Diamana:

$V_1$  = Kecepatan pancar air (m/s)

g = percepatan grafitasi (m/s<sup>2</sup>)

$H_{eff}$  = Head efektif (m)

- Perhitungan diameter pancaran air

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} \dots\dots\dots(2.27)$$

(Harinaldi, 2015)

Diaman

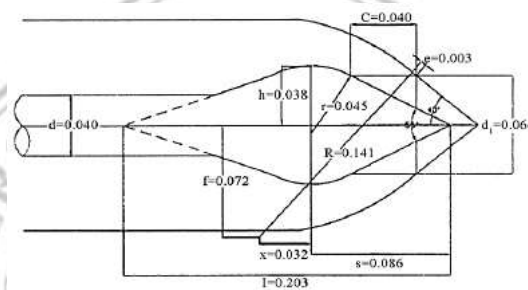
$d$  = Diameter pancaran *nozzle* (m)

$Q$  = Debit aliran air (m<sup>3</sup>/s)

$V$  = Kecepatan pancaran air (m/s)

- Perhitungan dimensi *nozzle*

Perhitungan dimensi *nozzle* didasarkan pada diameter pancaran air. Perhitungan dimensi *nozzle* dapat dilihat pada persamaan dibawah.



**Gambar 2. 17 Dimensi *nozzle* turbin pelton (Sumber: Theint & Myo, 2018)**

Perhitungan *nozzle* turbine pelton adalah

$C = 0,63d$

$s = 1,35d$

$x = 0,503d$

$d = 0,63d$

$I = 3,17d$

$r = 0,705d$

$R = 2,2d$

$h = 0,6d$

$f = 1.13d$

(Theint & Myo, 2018)

### b. Perhitungan Poros

Poros merupakan komponen pada mesin yang berfungsi untuk menopang pang komponen lain dan meneruskan putaran dari komponen tersebut ke komponen lainnya. Dalam penentuan diameter poros harus ditentukan kondisi beban poros yang akan diaplikasikan dalam poros tersebut. Terdapat tiga kemungkinan kondisi beban yang akan terjadi pada poros, yaitu poros dengan momen punter (torsi) saja , poros dengan momen bendng saja dan poros kondisi campuran (R.S. Khurmi, 2005).

- Persamaan diameter poros akibat bending

$$T = \tau \times \frac{\pi}{16} \times d^3 \dots\dots\dots(2.28)$$

(R.S. Khurmi, 2005)

Dimana,

T = Momen Puntir atau torsi (N-mm)

$\tau$  = Tegangan geser bahan (N/mm<sup>2</sup>)

d = Diameter poros (mm)

- Persamaan diameter poros akibat torsi

$$M = \sigma_b \times \frac{\pi}{32} \times d^3 \dots\dots\dots(2.29)$$

(R.S. Khurmi, 2005)

Dimana,

M = Momen bending (N-mm)

$\sigma_b$  = Tegangan bending (N/mm<sup>2</sup>)

d = Diameter poros (mm)

1. Persamaan poros dengan gabungan momen bending dan torsi

Untuk menentukan diameter poros dengan beban gabungan harus ditentukan terlebih dahulu nilai dari masing- masing beban, yaitu beban torsi dan beban bending.

- Persamaan beban karena beban torsi

$$T_e = \sqrt{(K_m \times M)^2 + (K_t + T)^2} \dots\dots\dots(2.30)$$

(R.S. Khurmi, 2005)

- Persamaan beban karena beban bending

$$M_e = \frac{1}{2} [K_m \times M \sqrt{(K_m \times M)^2 + (K_t + T)^2}] \dots\dots\dots(2.31)$$

(R.S. Khurmi, 2005)

Dimana,

$T_e$  = Momen torsi equivalen (Nmm)

$M_e$  = Momen bending (Nmm)

$M$  = Momen bending (Nmm)

$T$  = Momen Torsi (Nmm)

$K_m$  = Kombinasi beban kejut dan lelah untuk bending

$K_t$  = Kombinasi beban kejut dan lelah untuk torsi

Nilai faktor koreksi dari torsi dan bending  $K_t$  dan  $K_m$  dapat dilihat pada tabel dibawah.

**Tabel 2. 4 Nilai  $K_m$  dan  $K_t$  pada perancangan poros (R.S. Khurmi, 2005)**

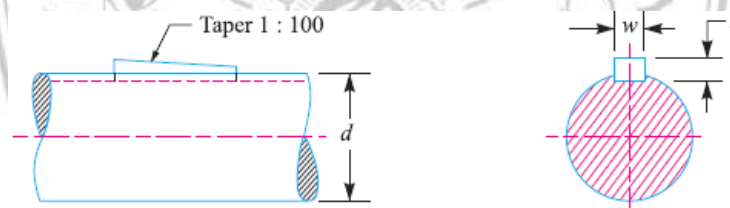
<i>Natural Of Load</i>	<i>K<sub>m</sub></i>	<i>K<sub>t</sub></i>
1. Poros diam		
a. Beban bertahap	1.0	1.0
b. Beban kejut	1.5 sampai 2.0	1.5 sampai 2.0
2. Poros Berputar		
a. Beban tetap	1.5	1.0
b. Beban dengan kejutan kecil	1.5 sampai 2.0	1.5 sampai 2.0
c. Beban dengan kejutan berat	2.0 sampai 3.0	1.5 sampai 3.0

Penentuan diameter poros juga harus memperhatikan bahan yang digunakan dalam poros tersebut. Bahan poros harus memiliki beberapa sifat yaitu

1. Harus memiliki kekuatan tinggi.
2. Harus memiliki kemampuan pemesinan yang baik.
3. Harus memiliki factor sensitifitas tarik yang rendah.
4. Memiliki sifat perlakuan panas yang baik.
5. Memiliki sifat tahan aus yang baik.

c. Perhitungan Pasak

Pasak merupakan potongan baja ringan yang digunakan untuk mengunci antara poros dengan bos poros atau dengan hub. Poros digunakan untuk pengunci sementara sehingga antara keduanya tidak terjadi gerakan relatif. Notasi pasak dapat dilihat pada gambar di bawah.



**Gambar 2. 18 Gambar pasak berbentuk kotak (Rectangular sunk key) (Sumber: R.S. Khurmi, 2005)**

Keterangan,

- $d$  = Diameter poros
- $w$  = Lebar pasak ( $d/4$ )
- $T$  = ketebalan pasak ( $2w/3$  atau  $d/6$ )

Selain itu untuk menentukan ukuran poros dapat menggunakan tabel standart poros menurut standar IS 2292 dan 2293-1974 di bawah (R.S. Khurmi, 2005).

**Tabel 2. 5 Standar pasak menurut standart IS 2292 dan 2293-1974 (R.S. Khurmi, 2005)**

Diameter Poros (mm)	Ukuran Pasak		Diameter Poros (mm)	Ukuran Pasak	
	Lebar (mm)	Tebal (mm)		Lebar (mm)	Tebal (mm)
6	2	2	85	25	14
8	3	3	95	28	16
10	4	4	110	32	18
12	5	5	130	36	20
17	6	6	150	40	22
22	8	7	170	45	25
30	10	8	200	50	28
38	12	8	230	56	32
44	14	9	260	63	32
50	16	10	290	70	36
58	18	11	330	80	40
65	20	12	380	90	45
75	22	14	440	100	50

Pada pasak terkena beban torsi dari putaran poros sehingga pada pasak akan mengalami kegagalan karena tergesernya pasak akibat tegangan geser yang terjadi, dan pecahnya pasak akibat tegangan bending yang terjadi pada pasak (R.S. Khurmi, 2005) .

- Perhitungan lebar pasak

Perhitungan lebar pasak didasarkan karena tegangan geser pada pasak, beban torsi yang terjadi (R.S. Khurmi, 2005). Untuk menentukan lebar pasak dapat dilihat pada persamaan di bawah.

$$T = l \times w \times \tau_{ab} \times \frac{d}{2} \dots \dots \dots (2.32)$$

(R.S. Khurmi, 2005)

Diaman:

T = Torsi pada poros (Nm)

l = Panjang poros (m)

$w$  = lebar pasak (m)

$\tau_{ab}$  = tegangan geser bahan ( $\text{N/m}^2$ )

$d$  = Diameter poros (m)

- Perhitungan tebal pasak

Perhitungan tebal pasak didasarkan pada tegangan bending yang terjadi pada pasak. tebal pasak digunakan untuk menahan agar pasak tidak patah (R.S. Khurmi, 2005). Untuk menghitung tebal pasak dapat digunakan persamaan seperti dibawah.

$$T = l \times \frac{t}{2} \times \sigma_b \times \frac{d}{2} \dots \dots \dots (2.33)$$

(R.S. Khurmi, 2005)

Diaman:

$t$  = tebal pasak (m)

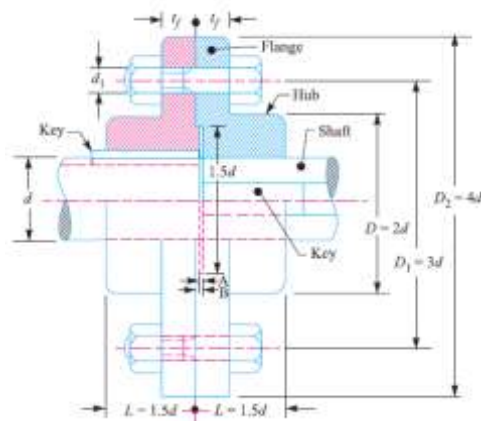
$\sigma_b$  = tegangan bending bahan ( $\text{N/m}^2$ )

$d$  = diameter poros (m)

#### d. Transmisi Turbin

Kopling merupakan salah satu alat yang digunakan untuk menstrasmisikan daya selain *belt* dan *pully*. Ada beberapa jenis kopling yang digunakan untuk menstrasmisikan daya salah satunya adalah koling flens (*flange coupling*). *Flange Kopling* memiliki dua bagian flans terpisah yang kedua bagiannya dipasang pada masing- masing poros dan di kunci dengan menggunakan baut dan mur. Model kopling dapat dilihat pada gambar dibawah.





Gambar 2. 19 Desain flange coupling (Sumber: R.S. Khurmi, 2005)

Keterangan:

- d = Diameter Poros
- D = Diameter hub
- $D_1$  = Diameter lingkaran baut
- $D_2$  = Diameter luar flans
- $d_1$  = Diameter Baut
- $t_f$  = Tebal flans

- Perhitungan diameter hub

Hub kopling adalah bagian kopling yang menghubungkan poros dengan flange. Perhitungan hub sebagai berikut.

- Perhitungan diameter hub

Berdasarkan buku *Machine Design*, diameter Hub kopling adalah

$$D = 2d \dots\dots\dots(2.34)$$

(R.S. Khurmi, 2005)

- Perhitungan panjang hub

Sedangkan panjang hub dicari dengan persamaan

$$L = 1,5d \dots\dots\dots(2.35)$$

(R.S. Khurmi, 2005)

- Evaluasi kekuatan hub

Berdasarkan persamaan diatas, kekuatan diameter hub harus dievaluasi kekuatannya berdasarkan tegangan geser yang terjadi pada hub. Jika tegangan geser pada hub lebih kecil dari tegangan ijin material maka diameter hub diijinkan. Desain Hub didasarkan pada tegangan geser yang terjadi dengan profil berbentuk poros berongga (R.S. Khurmi, 2005), maka persamaan tegangan gesernya adalah

$$T = \frac{\pi}{16} \tau_k \left( \frac{D^4 - d^4}{D} \right) \dots\dots\dots (2.36)_{ccp}$$

(R.S. Khurmi, 2005)

Dimana:

- T = Torsi (Nm)
- $\tau_k$  = Tegangan geser hub (N/m<sup>2</sup>)
- D = Diameter Hub (m)
- d = Diameter poros (m)

- Perhitungan Flange Kopling

Flange kopling adalah bagian kopling yang berfungsi sebagai penghubung kopling flange pada bagian pemutar dan yang diputar. Flange kopling sebagai berikut.

- Perhitungan tebal flange

Berdasarkan buku *Machine Design*, tebal *flange* adalah

$$t_f = 0,5 d \dots\dots\dots (2.37)$$

(R.S. Khurmi, 2005)

- Perhitungan diameter luar flange

Diameter luar flange dicari dengan persamaan dibawah.

$$D_2 = 4d \dots\dots\dots(2.38)$$

(R.S. Khurmi, 2005)

- Perhitungan diameter lingkaran baut

Diameter lingkaran baut adalah jarak antar baut pada kopling flange atau jarak baut dengan titik pusat kopling. Berdasarkan buku *Machine Design* diameter lingkaran baut adalah

$$D_2 = 4d \dots\dots\dots(2.39)$$

(R.S. Khurmi, 2005)

- Evaluasi kekuatan flange

Evaluasi kekuatan flange kopling didasarkan pada tegangan geser akibat torsi yang ditransmisikan oleh poros. Persamaan dapat dilihat pada persamaan dibawah.

$$T = \pi D \times t_f \times \tau_f \times \frac{D}{2} \dots\dots\dots(2.40)$$

(R.S. Khurmi, 2005)

Diamana :

T = Torsi (Nm)

D = Diameter Hub (m)

$t_f$  = Tebal flange (m)

$\tau_f$  = Tegangan Geser pada flange (N/m<sup>2</sup>)

e. Perhitungan baut kopling

- Jumlah baut pada kopling

Untuk menentukan jumlah baut pada perancangan kopling flange didasarkan pada standart **IS : 3653 – 1966 (Reaffirmed 19900)** pada tabel dibawah.

**Tabel 2. 6 Tabel Jumlah baut berdasarkan standart IS : 3653 – 1966 (R.S. Khurmi, 2005)**

<i>Shaft Diameter (mm)</i>	35 to 55	56 to 150	151 to 230	231 to 390	Above 390
<i>No. of bolts</i>	4	6	8	10	12

- Perhitungan diameter baut

Untuk menentukan diameter baut didasarkan pada tergesernya material akibat beban torsi.

$$T = \frac{\pi}{4} \times (d_1)^2 \times \tau_b \times n \times \frac{D_1}{2} \dots\dots\dots(2.41)$$

(R .S. Khurmi, 2005)

dimana,

T = Torsi yang diterima baut (Nmm)

d<sub>1</sub> = diameter baut (mm)

τ<sub>b</sub> = Tegangan geser maksimum bahan (N/mm<sup>2</sup>)

n = Jumlah baut

D<sub>1</sub> = Diameter Ingkaran baut (mm)

#### f. Pemilihan Bantalan turbin

Bantalan atau bearing adalah komponen mesin yang digunakan untuk menumpu atau menopang poros yang berbeban sehingga poros dapat bergerak dengan lancar (sularso 2004). Untuk menentukan umur bantalan maka dihitung dengan persamaan seperti dibawah.

- Perhitungan ekivalen pada bantalan

Beban ekivalen adalah beban total atau beban tang bekerja pada bantalan. Beban ini didasarkan pada besar reaksi tumpuan pada banalan. Besar beban ekivalen adalah

$$P_r = XVF_r + YF_a \dots\dots\dots(2.42)$$

(Sularso & Suga, 2004)

Diaman:

$Pr$  = Beban radial (Kg)

$X, V, Y$  = Faktor beban (lihat lampiran)

$Fr$  = Beban radial (Kg)

$Fa$  = Beban aksial

- Perhitungan factor kecepatan

Factor kecepatan dapat dihitung dengan persamaan

$$fn = \left( \frac{33,3}{n} \right)^{0,33} \dots\dots\dots(2.43)$$

(Sularso & Suga, 2004)

Diaman

$fn$  = factor kecepatan

$n$  = Putaran poros (Rpm)

- Perhitungan factor umur bantalan

Factor umur untuk bantalan dapat dilihat pada persamaan dibawah

$$fh = fn \frac{C}{P} \dots\dots\dots(2.44)$$

(Sularso & Suga, 2004)

Diaman

$Fh$  = factor umur

$fn$  = facto kecepatan

$C$  = Beban nominal dinamik, pada tabel spesifik bantalan (kg)

$P$  = Beban ekivalen

- Perhitungan umur nominal bantalan

Umur bantalan dicari dengan persamaan

$$L_h = 500fh^3 \dots\dots\dots(2.45)$$

Diaman

$fh$  = faktor umur bantalan

## 1.8 Pemilihan Generator Listrik

Pemilihan generator untuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) juga perlu sangat diperhatikan di mana kita memilih sesuai kondisi lapangan yang ada. Untuk spesifikasi generator dengan 1500 rpm 50Hz 3fasa dengan keluaran 220/380 v, untuk efisiensi umum generator sendiri itu adalah: (*Micro-Hydropower System*)

1. Aplikasi < 10 KVA efisiensi 0,70 - 0,80
2. Aplikasi 10 – 20 KVA efisiensi 0,80 - 0,85
3. Aplikasi 20 – 50 KVA efisiensi 0,85
4. Aplikasi 50 – 100 KVA efisiensi 0,85 - 0,90
5. Aplikasi > 100 KVA efisiensi 0,90 - 0,95

